

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА, ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ И ФОСФОРОМ

Е.А. Черобыло, Л.С. Паршина, О.А. Новодворский, О.Д. Храмова,  
В.Я. Панченко

*Учреждение Российской Академии Наук Институт Проблем Лазерных и  
Информационных Технологий РАН, г. Шатура, Россия*

E-mail: buka17@list.ru

Modern tendencies in microelectronics demand creation of qualitative films of nanometer thickness, requirements to uniformity and smoothness of a surface of received structures constantly rise. The ZnO: N and ZnO: P thin films samples series have been produced by the pulse laser deposition method from ceramic targets. Zn<sub>3</sub>N<sub>2</sub>, MgO and Zn<sub>3</sub>P<sub>2</sub> were entered in the ZnO ceramic targets for the p-type ZnO films fabrication. As buffer gas were used O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O. The thermal annealing of the ZnO films have been lead. The resistance and the ZnO films photoluminescence spectra before and after annealing have been measured. The dependence of the amplitude and the ZnO films photoluminescence peak position before and after annealing from the N and P films doping level has been established.

Оксид цинка, полупроводниковый материал группы А<sup>II</sup> В<sup>VI</sup>, широко применяется для изготовления элементов интегральной оптики, газовых сенсоров, солнечных элементов. Однако особый интерес представляет применение ZnO как базового материала для получения диодных и лазерных структур, излучающих в голубой и ультрафиолетовой области спектра [1, 2]. Для создания излучающих приборов на базе ZnO необходимо получение материала как n-, так и p- типа. Технология получения высокопроводящих пленок ZnO n- типа дает хорошо воспроизводимые результаты. Однако получение материала p- типа в настоящее время является сложной технологической проблемой [3]. Это связано с тем, что пленки и монокристаллы ZnO имеют n- тип проводимости за счет большого числа собственных дефектов типа межузельного цинка или вакансий кислорода [4]. В представленной работе исследовано влияние термического отжига на спектры фотолюминесценции пленок ZnO, легированных азотом или фосфором.

Методом импульсного лазерного осаждения получены серии пленок ZnO легированные азотом и фосфором при различных условиях напыления и методах введения азота и фосфора в пленку в процессе напыления. Для напыления пленок p-типа использовались мишени ZnO:(Ga,N) с содержанием GaN – 1 ат. %, ZnO:N с содержанием N:O – 10 ат. % и ZnO:(Mg,P) с содержанием Mg – 10 ат. %, P – от 0,05 до 1 ат. %. Термический отжиг был проведен для серий пленок с различным процентным содержанием азота и фосфора, полученных в вакууме, в атмосфере N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>. После каждой процедуры термического отжига снимались спектры фотолюминесценции и измерялось электрическое сопротивление пленок.

Нами была исследована зависимость фотолюминесценции пленок от времени термического отжига при 500°C в различных спектральных областях, соответствующих ФЛ акцепторно связанных экситонов (389 нм), излучению с глубоких донорных состояний, вызванных вакансиями кислорода (500 нм) и излучению с глубоких донорных состояний, вызванных замещениями кислорода молекулярным азотом (N<sub>2</sub>)<sub>O</sub> (630 нм).

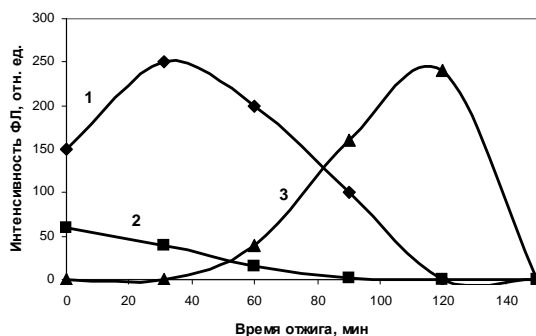


Рис. 1 Характерное изменение интенсивности спектров ФЛ в процессе термического отжига (500°C) на примере образца №119 (мишень ZnO:N с содержанием N: O – 10 ат. %) на различных участках спектра:  
1 - 389 нм, 2 - 500 нм, 3 - 630 нм.

Как видно из рис. 1, пленки, легированные азотом, имеют спектр ФЛ в УФ области спектра. Амплитуда сигнала ФЛ в УФ области спектра в процессе отжига проходит через максимум, а после 120 мин. отжига полностью исчезает. Свечение пленок в зеленой области спектра (вакансии кислорода) монотонно снижается со временем отжига. В процессе отжига появляется полоса излучения в красной области спектра (около 630 нм), что свидетельствует о появлении замещений кислорода молекулярным азотом по реакции:  $2(N)_O + O_2 \rightarrow O + (O)_O + (N_2)_O$ . Это указывает на большую скорость диффузии атомов азота в пленке ZnO.

Зависимость амплитуды ФЛ пленки ZnO, легированной фосфором от температуры в режиме отжига с постепенным повышением температуры (с шагом 100 °C и временем отжига на каждом шаге 60 мин.), представлена на рис.2.

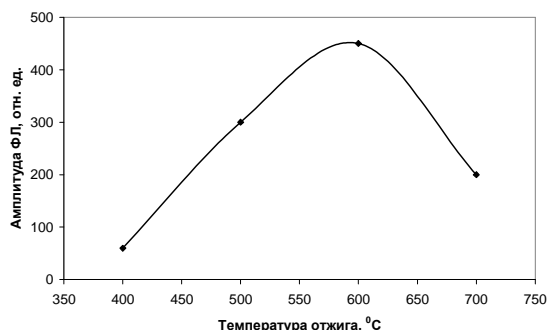


Рис.2. Зависимость амплитуды ФЛ пленки № 140 при 8 К (мишень ZnO:(Mg,P) с содержанием Mg – 10 ат. %, P – от 0,05 ат. %) от температуры отжига.

Как видно из рис. 2, ФЛ линейно возрастает с увеличением температуры отжига от 400 до 600 °C. При 600 °C сигнал ФЛ достигает

своего пика. При дальнейшем отжиге сигнал ФЛ падает. Можно сделать вывод, что оптимальная температура отжига пленок ZnO:(Mg,P) 600 °C.

В режиме отжига с постепенным повышением температуры (с шагом 100 °C) наблюдалась зависимость изменения удельного сопротивления (рис.3).

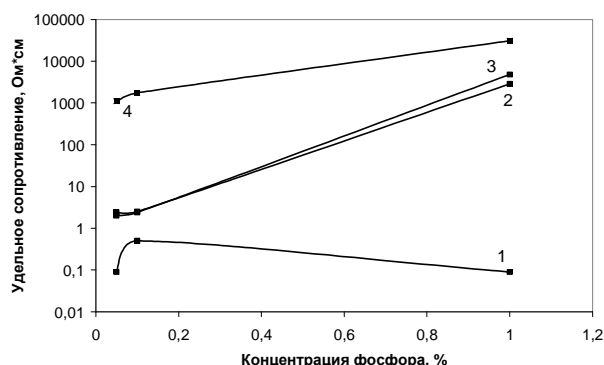


Рис.3. Зависимость удельного сопротивления пленок (мишень ZnO:(Mg,P) с содержанием Mg – 10 ат. %, P – 0,05; 0,1; 1 ат. %) от температуры отжига при постепенном (с шагом 50 °C) повышении температуры:

1 – до отжига, 2 – после 1-го отжига (500 °C), 3 – после 2-го отжига (600 °C), 4 – после 3-го отжига (700 °C).

Спектры пропускания пленок ZnO, легированных фосфором представлены на рис. 4.

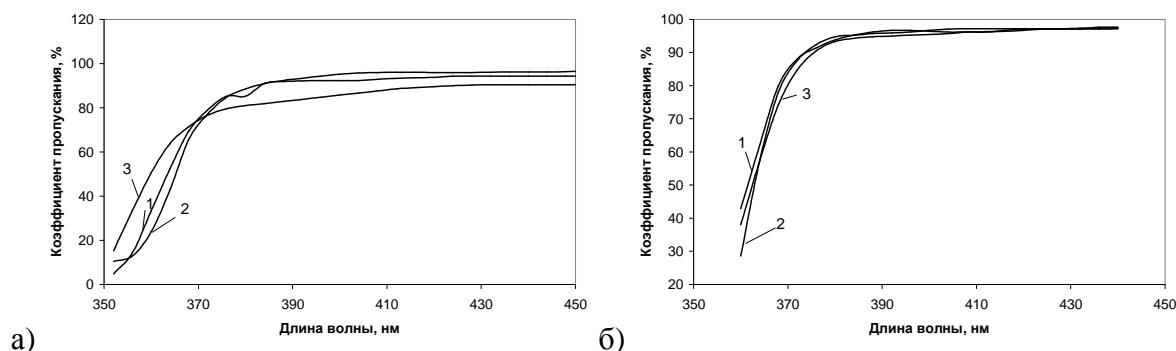


Рис.4. Спектры пропускания пленок ZnO (Mg,P) с содержанием Mg – 10 ат. %, P – : 1- 0,05; 2- 0,1; 3- 1 ат. %: а) до отжига; б) после отжига .

Наблюдалось немонотонное изменение ширины запрещенной зоны пленок ZnO, легированных фосфором до и после отжига (рис. 5). Видно, что отжиг приводит к увеличению запрещенной зоны. С увеличением концентрации фосфора до отжига ширина запрещенной зоны увеличивается, а после отжига уменьшается.

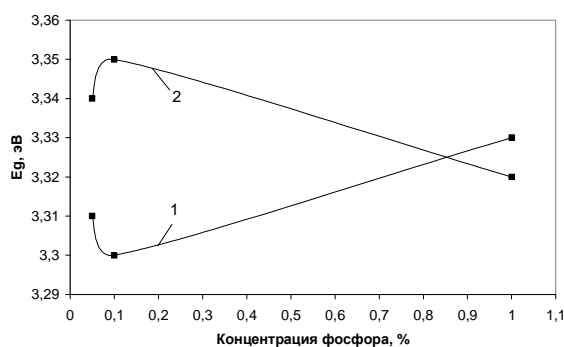


Рис.5. Изменение ширины запрещенной зоны пленок ZnO (Mg,P) с содержанием Mg – 10 ат. %, P – 0,05; 0,1; 1 ат. %: 1- до отжига; 2- после отжига .

Проведен термический отжиг пленок ZnO:P и ZnO:N. Измерено удельное сопротивление и спектры фотолюминесценции пленок до и после отжига. Установлена зависимость амплитуды фотолюминесценции пленок ZnO с различным уровнем легирования N и P от режимов отжига.

1. D.C. Look, B. Claflin, Ya.I. Alivov, S.J. Park. Phys. Status Solidi A, 201, 2203 (2004).
2. U. Ozgur, Ya.I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S.-J. Cho, H. Marko. J. Appl. Phys. 98, 041301(2005).
3. D.C. Look, R.L. Jones, J.R. Sizelove, N.Y. Garces, N.C. Giles, L.E. Halliburton. Phys. Status Solidi A, 195, 171 (2003).
4. S.B. Zang, S.-H. Wei, A. Zunger. Phys. Rev. B, 63, 075205 (2001).